



Çıkarma Gemilerinin Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI) Performansının Analizi

Analyzing the Energy Efficiency Design Index (EEDI) Performance of Landing Ships

Araştırma Makalesi / Research Article

¹Mehmet ÖZDAĞ, ²Sayit ÖZBEY, ³İsmet TIKIZ

¹Kocaeli Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı, ORCID:0009-0009-2945-9206, Kocaeli/Türkiye, 215116003@kocaeli.edu.tr

²Kocaeli Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği, ORCID: 0000-0002-9782-6997, Kocaeli/Türkiye, sayit.ozbey@kocaeli.edu.tr

³Kocaeli Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği, ORCID: 0000-0003-4477-799X, Kocaeli/Türkiye, ismet.tikiz@kocaeli.edu.tr

Özet

Denizcilik endüstrisi, dünya ticaretinin belkemiğidir ve enerji verimliliği bu endüstrinin temel bir önceliğidir. Deniz taşımacılığı, küresel enerji tüketiminin önemli bir kısmını temsil ederken, aynı zamanda sera gazı emisyonlarının da önemli bir kaynağıdır. Bu nedenle, gemi tasarımı ve işletmesinde enerji verimliliğini arttırmak ekonomik ve çevresel açıdan kritiktir. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), gemilerin enerji verimliliğini değerlendirmek ve geliştirmek için çeşitli önlemler almıştır. Bu önlemler arasında, IMO tarafından ortaya konulan enerji verimliliği dizayn indeksi (EEDI), gemilerin enerji etkinliğini değerlendirmek ve karşılaştırmak için kullanılan önemli bir araçtır. EEDI, gemi inşaatının erken aşamalarında tasarım ve mühendislik kararlarını yönlendirerek ve optimize ederek enerji verimliliğini arttırmayı amaçlar. Bu çalışmada, IMO'nun EEDI hesaplama yöntemi kullanılarak askeri gemilerin verimlilikleri değerlendirilmiş ve referans değerlerle karşılaştırılmıştır. Farklı boyutlarda ve makine güçlerine sahip birden fazla gemi üzerinde yapılan çalışmada, örnek bir gemi için hesaplama yöntemi gösterilerek tüm gemilere uygulanmıştır. IMO tarafından farklı ticaret gemi tipleri için belirlenen referans verimlilik değerleri hesaplama yöntemi de paylaşılmıştır. Çalışmada, askeri çıkarma gemi tipine en çok benzeyen Roll on-Roll off (Ro-Ro) tipi kargo ticaret gemisi kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Sonuçlar gerçek EEDI değerlerinin referans verimlilik değerlerinden yüksek olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni, askeri gemilerin enerji verimliliğinden çok operasyonel kabiliyetlerine odaklanılmasından kaynaklanmaktadır. Ancak, enerji tüketiminde yapılacak iyileştirmelerin stratejik avantajlar sağlayabileceği öngörülmektedir. Çalışma, askeri gemilerin enerji verimliliğini arttırmak için optimize edilebileceklerini ve bu iyileştirmelerin operasyonel kabiliyeti ileri düzeye taşıyabileceğini vurgulamaktadır. Gelecekte yapılacak optimizasyonlarla tasarruf edilen enerjinin farklı alanlarda kullanılarak operasyonel kabiliyetin geliştirilebileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: EEDI, Askeri gemilerde Enerji Verimliliği, IMO, SEEMP.

Abstract

The shipping industry is the backbone of world trade and energy efficiency is a key priority for this industry. While maritime transport represents a significant portion of global energy consumption, it is also a major source of greenhouse gas emissions. Therefore, improving energy efficiency in ship design and operation is economically and environmentally critical. The International Maritime Organization (IMO) has taken several measures to assess and improve the energy efficiency of ships. Among these measures, the energy efficiency design index (EEDI) is an important tool used to evaluate and compare the energy efficiency of ships. EEDI aims to improve energy efficiency by guiding and optimizing design and engineering decisions in the early stages of shipbuilding. In this study, the efficiency of naval ships is evaluated and compared with reference values using IMO's EEDI calculation method. In the study, the calculation method is demonstrated for a sample ship and applied to all ships. The calculation method of reference efficiency values determined by IMO for different types of merchant ships is also shared. The calculation was performed using a Ro-Ro type cargo merchant ship, which is most similar to the military landing ship type. The results show that the actual EEDI values are higher than the reference efficiency values. This is due to the focus on the operational capabilities of military ships rather than their energy efficiency. However, it is predicted that improvements in energy consumption can provide strategic advantages. The study highlights that naval ships can be optimized to improve energy efficiency and that these improvements can enhance operational capability. It is foreseen that the energy saved by future optimizations can be used in different areas to improve operational capability.

Keywords: EEDI, Energy Efficiency in Military Ships, IMO, SEEMP.

1. Giriş

Günümüzde, dünya nüfusunun hızla artması ve endüstrileşme sürecinin yaygınlaşmasıyla birlikte enerji tüketimi de paralel olarak artmaktadır (Stern ve Kander, 2010). Bu artış, fosil yakıtların kullanımıyla birlikte çevresel etkilerin yanı sıra enerji güvenliği ve ekonomik istikrar gibi konularda da önemli sorunlara yol açmaktadır (Martins vd., 2019). Bu sebeplerden dolayı, enerji verimliliği konusu günümüzde giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Papadakis ve Katsaprakakis, 2023).

Gemiler, dünya ticaretinin önemli bir parçasını oluşturmakta olup, ticaret hacminin büyüklüğü ve yaygınlığı göz önüne alındığında, gemi taşımacılığında enerji verimliliğinin artırılması büyük önem taşımaktadır. Gemilerde enerji verimliliği, hem işletme maliyetlerini azaltarak rekabet gücünü artırmada hem de çevresel etkileri minimize etme açısından büyük potansiyele sahiptir (Papadakis ve Katsaprakakis, 2023; Poulsen vd., 2022; Tadros vd., 2023).

Askeri gemiler, stratejik operasyonlarda ve deniz güvenliğinin sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, bu gemilerin operasyonel gereksinimleri, genellikle yüksek enerji tüketimi ve çevresel etkilerle ilişkilidir. Bu nedenle, askeri gemilerde enerji verimliliğini artırmak, operasyonel etkinliği artırmak ve çevresel etkileri azaltmak için hayati bir öneme sahiptir (Narula, 2019). Askeri gemilerde enerji verimliliği, sadece operasyonel etkinlik ve maliyet tasarrufu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda stratejik bir avantaj da sunabilir (Gougoulidis, 2015). Daha enerji verimli gemiler, daha uzun mesafelere seyahat ederken daha

az yakıt tüketir ve daha uzun süreli görevler için gereken yakıt depolama kapasitesine sahip olabilir. Ayrıca, enerji verimliliği, askeri gemilerin yakıt ikmali ihtiyacını azaltarak lojistik zincirlerdeki zayıf noktaları azaltabilir.

Tokuşlu (2020) tarafından gerçekleştirilen bir çalışma, Türk deniz ticaret filosundaki konteyner gemilerinin enerji verimliliği üzerine odaklanmıştır. Bu çalışmada, bir konteyner gemisinin enerji verimliliği performansı analiz edilmiş ve geminin enerji verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, geminin enerji verimliliğini kısa, orta ve uzun vadede iyileştirmek için bazı pratik öneriler sunulmuştur. Enerji verimliliğine farklı bir açıdan yaklaşan Lee vd., (2021) gemilerden salınan karbonun yakalanması ve saklanması alanında bir tasarım yapmıştır. Bu yöntem gemilerde enerji verimliliğinin artırılmasının atmosfere verilen karbon oranının azaltılarak sağlanabileceğini göstermektedir. Diğer bir çalışmada Devanney (2011) bir ham petrol gemisinin enerji verimliliğine yakıt maliyetlerinin etkisini incelemiştir. Geminin seyir hızına göre tüketeceği yakıt miktarına bağlı olarak maliyet hesabı yaparken diğer yandan enerji verimliliği açısından uygunluğunu irdelemiştir. Sonuç olarak makine seçimi yapılırken küçük boyutlu ve yüksek devirli makine tercih edilmesi önerisinde bulunmuştur. Zhu vd., (2017) yeni inşa edilecek gemilerde enerji verimliliğinin artırılabilmesi için gemi güvertesine kurulabilecek bir güneş enerjisi sisteminden yararlanma fikrini geliştirmişlerdir. Güneş enerjisi direkt olarak gemi sevkinde kullanmak yerine geminin farklı sistemlerinde kullanarak ana makineden çekilecek gücün azaltılması sonucunda yakıt tüketiminin ve CO₂ salınımının azalacağını, bu sayede enerji verimliliğinin sağlanabileceğini incelemişlerdir. Yılmaz (2021) yaptığı çalışmada farklı makine ve pervane teknolojilerine sahip emisyon oranlarını karşılaştırmıştır. Gemilerden birinin ana makinesi common-rail yakıt sistemine sahipken diğeri in-line yakıt enjeksiyon sistemine sahiptir. İki gemi içinde enerji verimliliği hesaplaması yapılmış ve sonuç olarak ters dönüşlü pervane ve common-rail yakıt pompası sistemine sahip gemilerin yakıt tüketiminin daha az olduğunu, enerji verimliliğinin arttığını görmüştür.

Bu çalışmada, çıkarma gemilerinde enerji verimliliği dizayn indeksi konusu ele alınmaktadır. Enerji verimliliği dizayn indeksi, gemilerin tasarım aşamasında enerji verimliliğini değerlendirmek ve iyileştirmek için kullanılan bir araçtır. Bu indeks, gemi tasarımında kullanılan çeşitli parametrelerin enerji verimliliği üzerindeki etkisini değerlendirerek, daha verimli gemilerin tasarlanmasına olanak sağlar. Çalışmada, askeri gemilerin enerji verimliliği dizayn indeksi hesaplanarak Ro-Ro gemileri için verilen referans dizayn indeksi ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, askeri gemilerin enerji verimliliği açısından mevcut durumlarını ve potansiyel iyileştirme alanlarını belirlemeye yardımcı olabilir.

2. Enerji Kavramı

Enerji, sistemlerin veya cisimlerin yapabileceği iş miktarını ifade eden bir kavramdır. Doğada çeşitli formlarda bulunur ve bu formlar arasında ısı, ışık, mekanik, elektrik, kimyasal ve nükleer enerji yer alır. Ayrıca, enerji bir formdan diğerine dönüşebilir, bu da enerjinin çeşitli kullanım alanlarına uyum sağlayabilmesini sağlar. Enerji kaynakları genellikle yenilenebilir ve tükenbilir olmak üzere ikiye ayrılır. Yenilenebilir enerji kaynakları, doğada sonsuz bir şekilde yenilenebilen kaynaklardır. Güneş, rüzgâr, su ve jeotermal enerji gibi kaynaklar bu gruba dahildir. Bu kaynaklar, çevreye dostça ve sürdürülebilir bir enerji geleceği için kritik öneme sahiptir. Tükenbilir enerji kaynakları ise organik kalıntıların milyonlarca yıl süren fosilleşmesi sonucu oluşan kaynaklardır. Petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlar bu gruba örnektir. Bu kaynaklar, kullanıldıktan sonra kısa bir sürede yeniden oluşmazlar ve çevreye zararlı atıkların salınımına neden olabilirler. Bu açıdan bakıldığında, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim, enerji yönetimi ve çevre koruma açısından büyük önem taşımaktadır. Gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayacak sürdürülebilir bir enerji politikası için yenilenebilir kaynaklara olan yatırımların artırılması gerekmektedir (Beşikçi, 2015).

3. Enerji Yönetimi

Gemilerde enerji yönetimi, geminin enerji tüketimini optimize etmek ve verimliliğini artırmak için tasarlanan bir dizi strateji, teknoloji ve uygulamayı içerir (Çetin ve Ziya Sogut, 2021). Bu, geminin işletme maliyetlerini azaltmak, çevresel etkilerini en aza indirmek ve operasyonel verimliliğini artırmak için önemlidir (Yuan vd., 2023). Gemilerin enerji yönetimi, çeşitli bileşenleri içerir. Bunlar arasında yakıt tüketimi izleme ve optimizasyonu, enerji verimliliği önlemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, enerji depolama ve geri kazanım sistemleri ve gemi tasarımında enerji verimliliği dikkate alınması bulunur (Ang vd., 2017). Tüm bu önlemler, gemilerde enerji yönetiminin temel bileşenlerini oluşturur ve gemilerin daha çevre dostu, ekonomik ve sürdürülebilir bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu da denizcilik endüstrisinde önemli bir gelişme ve ilerleme sağlar (Ziylan, 2017).

3.1. Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI)

Denizcilik sektörlerinde karbondioksit salınımını azaltma çabaları, 2011 yılında IMO tarafından MARPOL Ek VI kapsamında önemli bir adım atılarak hız kazanmıştır (Tatar ve Özer, 2018). IMO, gemilerde enerji verimliliğini artırarak CO₂ salınımını azaltmayı hedefleyen bir önlem olan Enerji Verimliliği Tasarım indeksini kabul etmiştir. Bu indeks gemilerin tasarım safhasında CO₂ salınım performanslarının değerlendirilmesi için geliştirilmiştir (Stec vd.,

2021). Enerji verimliliği tasarım indeksi 400 gros ton (GT) ve üzeri yeni gemiler için geçerlidir. Gemi tasarımı ile makine performans verilerini dikkate alarak teorik olarak CO₂ salınımını hesaplar. IMO, EEDI'nin zorunlu uygulanması ile gemi endüstrisinde enerji verimliliğini artırmaya ve yenilikçi teknolojik gelişmeleri teşvik etmeye odaklanmıştır. Hesaplanan EEDI değeri IMO'nun belirlediği referans enerji verimliliği değerinin altında veya eşit olması gerekmektedir. Bu sayede gemi endüstrisinde enerji verimliliğini artırmak için önemli bir adım atılmıştır (Huilin Ren vd., 2019).

3.2. Gemiler İçin Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP)

Denizcilik endüstrisinde enerji verimliliğini artırmak, çevresel etkileri azaltmak ve operasyonel maliyetleri düşürmek amacıyla atılan önemli bir adım olan Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı, 2013 yılından itibaren uluslararası sefer yapan 400 GT ve üzeri tüm gemiler için zorunlu hale getirilmiştir. SEEMP, gemi işletmelerine enerji verimliliği konusunda somut adımlar atabilmeleri için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. SEEMP kavramı, EEDI'den farklı olarak sadece yeni gemiler için değil, aynı zamanda mevcut gemilerde de uygulanabilen önlemlerle enerji verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Bu önlemler, mevcut gemilerde maliyet ve işçilik açısından daha zor olan teknolojik yenilikler yerine, mevcut gemi koşullarının operasyonel olarak iyileştirilmesini hedeflemektedir (Godet vd., 2023; Kaminski, 2022; Kizielewicz, 2022) (IMO, 2012).

IMO şirketlerin üzerinde oluşan enerji maliyetlerinin azaltılması için SEEMP planının uygulanması noktasında oldukça karardır. Oluşturulan bu prosedürlerin şirketler tarafından eksiksiz bir şekilde uygulanması denizcilik sektöründeki enerji giderlerini önemli bir ölçüde düşürecektir (Alshawi ve Tsitskishvili, 2019).

4. Materyal ve Yöntem

4.1. Askeri Çıkarma Gemilerinde Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi Hesaplaması

Enerji verimliliği dizayn indeksi, bir geminin enerji verimliliğini ölçmek ve değerlendirmek için kullanılan bir metrik veya ölçüt sistemidir. Bu indeks, geminin tasarım özelliklerini, enerji kullanımını ve çevresel etkilerini değerlendirerek geminin enerji verimliliğini belirlemektedir. Enerji verimliliği dizayn indeksi, genellikle belirli bir geminin seyir performansını etkileyen faktörleri analiz eder. Bu faktörler arasında geminin boyutu, gövde şekli, itki sistemleri, yakıt tüketimi ve emisyonlar gibi özellikler yer alır. EEDI formülü denklem 1 ve 2'de verilmiştir.

$$EEDI = \frac{\text{çevreye etkisi}}{\text{topluma faydası}} = \frac{\text{Güç} \times SCF \times FC}{\text{Deadweight} \times \text{hız}} \quad (1)$$

$$EEDI = \frac{(P_{ME(i)} \times C_{FME(i)} \times SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \times C_{FAE} \times SFC_{AE})}{Kapasite \times V_{ref}} \quad (2)$$

EEDI hesaplamalarında kullanılan değişkenler ve sabitlerin açıklaması Tablo 1’de ve gemi ana makinelerinde kullanılan farklı yakıt tiplerinin karbon içerikleri CO₂ salınım değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. EEDI hesaplamasında kullanılan parametreler (MEPC Resolution 176(58), 2011)

Sembol	Tanım
C_F	Yakıt tüketimi ile CO ₂ emisyonu arasında boyutsuz dönüşüm faktörü
V_{ref}	Saatte deniz mili cinsinden gemi hızı
Kapasite	MEPC 245'in 2.3 ve 2.4'lerinde belirtildiği gibi Ağırlığın bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır.
P_{ME}	Ana motor MCR'nin kw cinsinden %75'i
P_{AE}	Yardımcı makine gücü
P_{Ti}	Şaft motorunun nominal güç tüketiminin %75'i
P_{EEF}	%75 ana makine gücünde tahrik için yenilikçi mekanik enerji verimli teknolojinin çıktısı
P_{AEFF}	Yenilikçi elektrik enerjisi verimli teknoloji sayesinde yardımcı güç azaltımı
SCF	G / kWh cinsinden Sertifikalı Spesifik Yakıt Tüketimi
F_J	Gemiye özel tasarım unsurlarını hesaba katan düzeltme faktörü.
F_W	Dalga yüksekliği, dalga frekansı ve rüzgar hızının temsili deniz koşullarında hız düşüşünü gösteren boyutsal olmayan katsayı
F_i	Kapasite üzerindeki herhangi bir teknik / yasal sınırlama için kapasite faktörü
F_e	Küçük kapasite düzeltme faktörü (kimyasal tankerler ve gaz taşıyıcılar için)
F_1	Geminin ölü ağırlık kaybını telafi etmek için vinçler ve diğer kargo ile ilgili donanımlarla donatılmış genel kargo gemileri faktörü
F_{eff}	Yenilikçi enerji verimliliği teknolojisinin kullanılabilirlik faktörü

Tablo 2. Farklı yakıt tiplerinin değerleri (MEPC Resolution 176(58), 2011)

Yakıt Türü	Referans	Karbon İçeriği	CF(T-CO ₂ /T-yakıt)
Dizel / Gaz Yağı	ISO 8217 DMX'den DMB'ye kadar sınıflar	0,8744	3,206
Hafif Akaryakıt (LFO)	ISO 8217 RMA'dan RMD'ye kadar sınıflar	0,8594	3,151
Ağır Akaryakıt (HFO)	ISO 8217 RME- RMK Sınıfları	0,8493	3,114
Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)	Propan	0,8182	3,00
	Bütan	0,8264	3,030

Sıvılaştırılmış Doğal Gaz(LNG)	0,75	2,75
Metanol	0,3750	1,375
Etanol	0,5217	1,913

4.1. Gemi Özellikleri

Askeri çıkarma gemileri, askeri operasyonlarda kara birliklerinin denizden karaya hareketini sağlayan önemli platformlardır. Bu gemiler, çeşitli görevlere uygun olarak tasarlanmış ve donatılmıştır. Bunlar arasında askeri personel, zırhlı araçlar, lojistik ekipman ve destek malzemelerinin taşınması gibi işlevler bulunmaktadır. Askeri çıkarma gemileri, deniz operasyonlarının başarıyla tamamlanmasında kritik bir rol oynamaktadır ve bu nedenle stratejik açıdan büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada askeri çıkarma gemi tipinin seçilme nedeniye boyutları ve form katsayıları, Ro-Ro tipi kargo taşımacılığı yapan gemilere çok yakın olmasıdır. Bu sayede Ro-Ro gemileri için kullanılan hesap yöntemlerini askeri çıkarma gemileri üzerinde kullanarak enerji verimlilik hesapları yapılacaktır. Tablo 3'te farklı ülkelerin envanterinde bulunan toplam 11 çıkarma gemisinin, deplasmanı, boyutları, makine gücü, hızı ve menzil bilgileri bulunmaktadır.

Tablo 3. Askeri çıkarma gemilerinin teknik özellikleri Kaynak: URL 1

Gemi İsmi	Üretim Yılı	Deplasman (ton)	Boy (m)	Genişlik (m)	Draft (m)	Makine Gücü (kw)	Max Hız (knot)	Menzil (mil)
Aydın	2018	7254	138,75	19,6	4,75	11520	18	5000
Burak	2023	27436	231,95	32	6,92	40000	21,2	9000
Cemal	2016	30300	230,83	32	7,07	34056	22	10000
Deniz	2007	16680	176,36	28,99	19,7	25600	19	7000
Engin	2015	27800	204,7	30,4	7,8	24800	18	9800
Felenk	2007	14300	199,03	31,09	7,01	24000	23	10000
Gabya	2014	45690	257	32	7,9	52000	22	10000
Halat	2009	40500	257	31,8	8,1	52000	22	9500
İstif	2006	25300	208	32	7	41600	22	9500
Jale	2006	16160	176,6	26,4	5,8	21700	18	8000
Kalyon	2003	19560	176	28,9	7,1	19700	18	8000

4.2. Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi Hesaplaması

Askeri çıkarma gemilerinin teknik özellikleri Tablo 1'de yer almaktadır. Bu özellikler ele alınarak Denklem 1 ve 2'de verilen enerji verimliliği dizayn indeksi hesaplanmıştır. Aydın gemisi için örnek bir hesaplama yaparken, Tablo 4'teki belirtilen değerler kullanılmıştır. Bu değerler, geminin ana makine gücü (MCR_{ME}), gemi kapasitesi (Kapasite), ana makinede

kullanılan yakıtın karbon emisyon oranı (CF_{ME}), yardımcı makinelerde kullanılan yakıtın karbon emisyon oranı (CF_{AE}), ana makinede birim zamanda tüketilen yakıt miktarı (SFC_{ME}), yardımcı makinelerde birim zamanda tüketilen yakıt miktarı (SFC_{AE}) ve seyir hızı (V_{ref}) gibi geminin önemli parametrelerini temsil eder. Bu değerler, geminin yakıt tüketimi, karbon emisyonu ve performansını analiz etmek için kullanılır ve gemi endüstrisinde sürdürülebilirlik ve operasyonel etkinlik açısından büyük öneme sahiptir.

Tablo 4. Aydın gemisinin EEDI hesabı için kullanılan parametreler

MCR _{ME} (kW)	Kapasite (DWT)	CF_{ME}	CF_{AE}	SFC_{ME} (g/kWh)	SFC_{AE} (g/kWh)	V_{ref} (kn)
11520	7254	3,114	3,114	190	215	18

$$P_{ME} = 0,75 \times MCR_{ME} = 0,75 \times 11520 \text{ kW} = 8640 \text{ kW} \quad (3)$$

$$P_{AE} = (0,025 \times MCR_{ME}) + 250 \text{ kW} = 538 \text{ kW} \quad (4)$$

$$EEDI = [(P_{ME} \times CF_{ME} \times SFC_{ME}) + (P_{AE} \times CF_{AE} \times SFC_{AE})] / (V_{ref} \times Kapasite) = [(8640 \times 3,114 \times 190) + (538 \times 3,114 \times 215)] / (18 \times 7254) = 41,908975 \text{ gCO}_2/\text{tnm} \quad (5)$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda TCG Bayraktar gemisinin enerji verimliliği dizayn indeksi 41,908975 (gCO₂/tnm) olarak bulunmuştur. Tüm gemiler için yapılmış olan hesaplama Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5. Çıkarma gemilerinin enerji verimliliği dizayn indeksi sonuçları

Gemi İsmi	Kapasite	CF_M	CF_A	SFC_M	SFC_A	V_{REF}	P_{ME}	P_{AE}	EEDI
Aydın	7254	3,114	3,114	190	215	18	8640	538	41,909
Burak	27436	3,114	3,114	190	215	21,2	30000	1250	31,955
Cemal	30300	3,114	3,114	190	215	22	25542	1101,4	23,777
Deniz	16680	3,114	3,114	190	215	19	19200	890	37,727
Engin	27800	3,114	3,114	190	215	18	18600	870	23,156
Felenk	14300	3,114	3,114	190	215	23	18000	850	34,110
Gabya	45690	3,114	3,114	190	215	22	39000	1550	23,988
Halat	40500	3,114	3,114	190	215	22	39000	1550	27,062
İstif	25300	3,114	3,114	190	215	22	31200	1290	34,717
Jale	16160	3,114	3,114	190	215	18	16275	792,5	34,928
Kalyon	19560	3,114	3,114	190	215	18	14775	742,5	26,241

4.4. Referans Enerji Verimliliği Hesabı

Farklı gemi tipleri için IMO tarafından yayınlanan referans enerji verimliliği hesabı denklem 6'da ve formüldeki değişkenlerin gemi tiplerine göre olan değerleri Tablo 6' de verilmiştir.

$$\text{Referans EEDI} = a \times b^{-c} \quad (6)$$

Tablo 6. Gemi tiplerine göre referans EEDI değişkenleri (MEPC Resolution 364(79), 2022)

Yönetmelikte Tanımlanan Gemi Tipleri	a	b	c
Dökme yük gemisi	961,79	DWT	0,477
Gaz tankeri	1120	DWT	0,456
Tanker	1218,8	DWT	0,488
Konteyner gemisi	174,22	DWT	0,201
Genel kargo gemisi	107,48	DWT	0,216
Soğutmalı kargo taşıyıcı	227.01	DWT	0,244
Kombine taşıyıcı	1219	DWT	0,488
Ro-Ro kargo gemisi	1405,15	DWT	0,498
Ro-Ro yolcu gemisi	752,16	DWT	0,381
LNG taşıyıcı	2253,7	DWT	0,474
Geleneksel olmayan tahrik sistemine sahip kruvaziyer yolcu gemisi	170,84	GRT	0,214

Örnek referans enerji verimliliği hesabını yine Aydın gemisi için yapılırsa;

$$\text{Referans EEDI} = 1405,15 \times 7254^{-0.498} = 16,794 \text{ gCO}_2/\text{tnm} \quad (7)$$

Çalışmada kullanılan tüm gemiler için yapılan bu hesaplamanın sonuçları Tablo 7'de sunulmuş. Tablodaki verilere göre, referans değerlerin hesaplanan değerlerden sapma oranları yüzde olarak belirtilmiş. En yüksek sapma oranı %285 ile İstif gemisinde bulunurken, en düşük sapma oranı ise %150 ile Aydın gemisinde görülmüş. Bu veriler, gemilerin tasarımı, donanımı ve işletilme şekilleri gibi faktörlerin enerji verimliliği üzerindeki etkilerini göstermektedir.

Tablo 7. Referans ve hesaplanan EEDI değerleri.

Gemi Adı	Referans EEDI	Hesaplanan EEDI	Sapma (%)
Aydın	16,794	41,908	149,542
Burak	8,658	31,955	269,081
Cemal	8,240	23,776	188,544
Deniz	11,093	37,724	240,070
Engin	8,601	23,156	169,225
Felenk	11,977	34,110	184,796
Gabya	6,716	23,988	257,177
Halat	7,131	27,062	279,498
İstif	9,015	34,716	285,092
Jale	11,269	34,927	209,939
Kalyon	10,247	26,240	156,075

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada farklı ülkelerin donanmalarında bulunan toplam 11 askeri çıkarma gemisi için enerji verimliliği dizayn indeksleri hesaplandıktan sonra askeri çıkarma gemi tipine en çok benzerliği olan Ro-Ro tipi ticari gemiler için kullanılan yöntemle hesaplanmış referans enerji verimliliği değerleri karşılaştırılmıştır.

Hesap edilen değerlere bakıldığında, Aydın %150 sapma ile referans değerlere en yakın gemi olurken, İstif %285 sapma ile referans değerlere en uzak gemi olmuştur. Aydın gemisinin sapmasının düşük olmasının nedeni kıyas edilen diğer gemilere göre yaşça genç, boyut ve kapasite olarak küçük olmasıdır. Aynı zamanda makine gücü ve ortalama seyir hızı dengesi diğer gemilere kıyasla daha makul seviyededir. İstif gemisinin enerji verimliliği indeksinin referans değerlerden bu kadar uzakta çıkmasının nedenleri listedeki en yaşlı gemilerden olması ve büyük bir gemi olmasına rağmen yüksek süratlerde görev yapmasıdır. Bu nedenler enerji verimliliğini büyük ölçüde etkilemiştir.

Gemilerin tamamına bakıldığında enerji verimliliği dizayn indeksi değerleri referans enerji verimliliği değerinin çok üzerinde çıktığı görülmektedir. Bunun birçok nedeni bulunmaktadır. Bu nedenler arasında askeri gemilerin operasyonel gereksinimleri, güvenlik ve savunma odaklı tasarım, yedeklenebilirlik ve teknolojik gelişmelerin farklılığı yer almaktadır. Fakat bunlara

rağmen askeri gemilerde de enerji verimliliği için yeterli düzeyde optimizasyon yapılması farklı alanlarda kullanılabilecek enerjiyi ortaya çıkaracaktır. Hız seçim optimizasyonu, seyir planı optimizasyonu, trim ve balast optimizasyonu, gövde ve pervane temizliği, ana makine performans takibi, yardımcı makine yük optimizasyonu gibi birçok farklı optimizasyon sonucunda gemilerin enerji verimlilikleri artırılabilir.

Tüm bu iyileştirme yöntemlerine bakıldığında aralarından en etkili olan yöntem, gemi boyutları, kapasite ve makine gücü optimizasyon yapmaktır. Enerji verimli olmayan gemilerde düşük EEDI elde edilmesindeki nedenlerden en büyüğü gemi boyutuna göre uygun olmayan makine seçilmesidir. Gemi boyutlarına göre doğru seçilecek bir makine ve iyi bir seyir hızı planlaması ile daha verimli gemiler oluşturmak mümkündür. Seyir hızında yapılacak optimizasyonlar verimliliği önemli ölçüde etkileyecektir.

Bunlara ek olarak gemilerin EEDI değerlerini düşürmek için mevcut seyir hızı ve makine gücü korunarak daha az karbon içeren ve emisyon değerleri çok düşük yakıt türü olan metanol dönüşümü yapmak gibi farklı bir seçenek bulunmaktadır. Bu yöntem günümüzde birçok gemiye uygulanmaktadır.

Literatürde askeri gemilerin enerji verimliliği ile ilgili çalışılabilecek geniş bir alan bulunmaktadır. Bu çalışmaya bakıldığında askeri gemilerin enerji verimliliği hesaplamalarının yapılmasının önemi görülmüş, ileride yapılabilecek çalışmalar için temel oluşturulmuştur.

Kaynakça

- Alshawi, M. A. O. S., ve Tsitskishvili, A. (2019). *Ship Energy Efficiency Management Plan: Analysis of Biofouling Ship Energy Efficiency Management Plan: Analysis of Biofouling Effect on Co2 Emission Performance of Iraq Non-Trading Fleet Effect on Co2 Emission Performance of Iraq Non-Trading Fleet*, (published Master Thesis) World Maritime University, Maritime Affairs, Sweeden. . https://commons.wmu.se/all_dissertations/1186
- Ang, J., Goh, C., Saldivar, A., ve Li, Y. (2017). Energy-Efficient Through-Life Smart Design, Manufacturing and Operation of Ships in an Industry 4.0 Environment. *Energies*, 10(5), 610. <https://doi.org/10.3390/en10050610>
- Beşikçi, E. B. (2015). *Gemi Sefer Yönetiminde Enerji Verimliliğinin Optimizasyonu* (Yayınlanmamış Doktora Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, FBE, İstanbul.
- Çetin, O., ve Ziya Sogut, M. (2021). A New Strategic Approach of Energy Management Onboard Ships Supported by Exergy and Economic Criteria: A Case Study of a cargo

- Ship. *Ocean Engineering*, 219, 108137. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108137>
- Devanney, J. (2011). The Impact of The Energy Efficiency Design Index on Very Large Crude Carrier Design and CO2 Emissions. *Ships and Offshore Structures*, 6(4), 355–368. <https://doi.org/10.1080/17445302.2010.546651>
- Godet, A., Nurup, J. N., Saber, J. T., Panagakos, G., ve Barfod, M. B. (2023). Operational Cycles for Maritime Transportation: A Benchmarking Tool for Ship Energy Efficiency. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 121(July), 103840. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103840>
- Gougoulidis, G. (2015). Energy-saving Measures for Naval Operations. *6th Annual NMIOTC Conference 2015 Current and Future Challenges to Energy Security in the Maritime Environment*, February, 1–8.
- Huilin Ren, Yu Ding, ve Congbiao Sui. (2019). Influence of EEDI (Energy Efficiency Design Index) on Ship–Engine–Propeller Matching. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(12), 425. <https://doi.org/10.3390/jmse7120425>
- IMO. (2012). Guidelines for the Development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) (C. 66, Sayı March).
- Kaminski, W. (2022). Implementation of Energy Efficiency Management in Shipping Companies and Ships in Operation. Scientific Papers of Silesian University of Technology. *Organization and Management Series*, 2022(157), 223–235. <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2022.157.14>
- Kizielewicz, J. (2022). Monitoring Energy Efficiency and Environmental Ship Index by Cruise Seaports in Northern Europe. *Energies*, 15(12), 4215. <https://doi.org/10.3390/en15124215>
- Lee, S., Yoo, S., Park, H., Ahn, J., ve Chang, D. (2021). Novel Methodology For EEDI Calculation Considering Onboard Carbon Capture And Storage System. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 105, 103241. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2020.103241>
- Martins, F., Felgueiras, C., Smitkova, M., ve Caetano, N. (2019). Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries. *Energies*, 12(6), 964. <https://doi.org/10.3390/en12060964>
- MEPC Resolution 176(58). (2011). Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to

Amend the International Convention for the Prevention of Pollution From Ships, 1973, as Modified by the Protocol of 1978 Relating Thereto. Amendments to MARPOL Annex VI. MEPC (C. 70).

MEPC Resolution 364(79). (2022). Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships.

Narula, K. (2019). Maritime Security and Its Role in Sustainable Energy Security. *The Maritime Dimension of Sustainable Energy Security* (ss. 117–142). https://doi.org/10.1007/978-981-13-1589-3_6

Papadakis, N., ve Katsaprakakis, D. Al. (2023). A Review of Energy Efficiency Interventions in Public Buildings. *Energies*, 16(17), 6329. <https://doi.org/10.3390/en16176329>

Poulsen, R. T., Viktorelius, M., Varvne, H., Rasmussen, H. B., ve von Knorring, H. (2022). Energy Efficiency İn Ship Operations - Exploring Voyage Decisions And Decision-Makers. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 102, 103120. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103120>

Stec, M., Tatarczuk, A., Iluk, T., ve Szul, M. (2021). Reducing The Energy Efficiency Design Index for Ships Through a Post-Combustion Carbon Capture Process. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 108, 103333. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2021.103333>

Stern, D. I., ve Kander, A. (2010). The Role of Energy in the Industrial Revolution and Modern Economic Growth. *SSRN Electronic Journal*, 33(3), 125–152. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1759705>

Tadros, M., Ventura, M., ve Soares, C. G. (2023). Review of Current Regulations, Available Technologies and Future Trends in the Green Shipping Industry. *Ocean Engineering*, 280, 114670. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114670>

Tatar, V., ve Özer, M. B. (2018). The Impacts of CO2 Emissions from Maritime Transport on the Environment and Climate Change. *International Journal of Environmental Trends (IJENT)*, 2(1), 5–24.

Tokuşlu, A. (2020). Analyzing the Energy Efficiency Design Index (EEDI) Performance of a Container Ship. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 7(2), 114–119. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.703255>

Yılmaz, O. (2021). *Denizcilikte Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi Analizi* (Yayınlanmış

Yüksek Lisans Tezi). İTÜ,FBE, İstanbul.

Yuan, Q., Wang, S., ve Peng, J. (2023). Operational Efficiency Optimization Method for Ship Fleet to Comply with the Carbon Intensity Indicator (CII) regulation. *Ocean Engineering*, 286, 115487. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115487>

Zhu, Y., Zhou, S., Feng, Y., Hu, Z., ve Yuan, L. (2017). Influences of Solar Energy on the Energy Efficiency Design Index for New Building Ships. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(30), 19389–19394. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.06.042>

Ziylan, K. (2017). *Türk Gemi İşletmelerinde Gemi Enerji Verimliliği Uygulamalarının Karşılaştırmalı Analizleri* (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, FBE, İzmir.

URL 1: Military Factory. (2024). Amphibious Assault Ships. Erişim Tarihi 12 Mayıs 2024 <https://www.militaryfactory.com/ships/amphibious-assault-vessels.php>